

単換掌 バイオメカニクスの動作解析マップ

Bāguàzhǎng — Dān Huàn Zhǎng Biomechanical Movement Analysis Map ISB基準準拠 / 多体節リンクモデル (15セグメント)

1. 単換掌における運動力学的遷移の概観

- ☑ 相対座標系における幾何学的成立条件 単換掌の幾何学的本質は、一様で定常的な円周運動慣性系から、質量中心（CoM）の並進運動と回旋運動を合成し、角運動量（Angular Momentum）の符号を非断絶的に反転させ、新たな円周運動慣性系へと移行するプロセスにある。転換点となる扣歩・擺歩フェーズでは支持基底面が動的に変化し、質量中心の進行方向ベクトルが円周法線方向へ偏向される。フェーズ4（葉底蔵花）では全セグメントの運動学的速度が零となる「零点（Zero-crossing）」においても、体軸が地面に対して鉛直性を維持し続けることが幾何学的成立条件の核心をなす。
- ☑ 物理諸量条件 (1) 運動エネルギーの散逸抑制：並進→回旋転換時の位置エネルギー減少を弾性ポテンシャルエネルギーへ変換する。(2) 角運動量の符号反転：CCW角運動量を零にした瞬間、内部回転モーメントを最大化し系全体の慣性モーメントを最適化することでCW方向への爆発的角加速度を予約する。(3) GRFのベクトル合成：足底の垂直GRFを体節間連鎖を通じて水平推進力・回旋力へ変換する。
- ☑ 解剖学的・運動力学的構造配置 腹横筋・多裂筋・骨盤底筋群・横隔膜の共収縮による腹腔内圧（IAP）制御が体幹剛性を確保する。下肢では中殿筋による骨盤水平安定化と梨状筋・閉鎖筋群による股関節嵌入維持が運動連鎖の起点安定性を保証する。上肢では肩甲骨周囲安定筋が相対的固定点を形成し、体幹からのエネルギーを受け止める。上行運動連鎖（AKC）と下行運動連鎖（DKC）の高度な同期が全構造配置の根幹をなす。

フェーズ1: 開始前姿勢 / 走圏途中 (Steady Circle Walking)

☑ 運動学的動作解説	☑ 幾何学的成立条件	☑ 物理諸量条件
定常的なCCW円周歩行。内側足（左）は接線方向に平行接地、外側足（右）はわずかに内旋位。股関節・膝関節は軽度屈曲位（15-30度）で CoM を約5-10cm下降させる。体幹はZ軸中心にCCW約90度回旋し胸郭・顔面を円中心へ向ける。脊椎は鉛直状態を維持。前手（左）は肘関節約120度屈曲、指先を円中心のZ軸延長線上に置き掌は円中心へ向ける。後手（右）は左肘下方に配置、前腕水平を保持する。	CoM は既定半径 R の円周軌道上を等速で追従。体軸は鉛直を保持し円筒状の座標拘束空間内を推移。	角運動量はCCWで一定値を維持。向心力と接線並進が動的平衡状態。各関節の回転モーメント総和は慣性系内で均衡。
☑ 解剖学的・運動力学的構造配置		
後脛骨筋等尺性収縮により足部アーチの剛性を保持。腹横筋による IAP 維持が CoM 安定を担保。僧帽筋下部が上肢の相対的固定点を形成。		

詳細マッピング (全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	1	0	AKC	0	後脛骨筋（等尺性）	垂直GRF受領と推進トルク変換の起点。	z軸回りの角速度CCW一定。角運動量を安定化。

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
右足部	1	0	AKC	0	長腓骨筋（等尺性）	向心力の維持と路面摩擦の担保。	向心回転モーメントを保持。各軸の角加速度を零に制御。
左下腿部	1	1	AKC	T	前脛骨筋（等尺性）	距骨座標の固定と下腿鉛直性の維持。	下腿の角運動量を骨盤へ伝達。x, y軸回転モーメントを相殺。
右下腿部	1	1	AKC	T	腓腹筋（等尺性）	膝関節角度の保持と GRF の伝達。	z軸角速度を下腿と同期。不規則な角加速度を減衰。
左大腿部	1	1	AKC	T	内側広筋（等尺性）	ミクリッツラインの保持と剪断応力の相殺。	x軸回転モーメントを飽和。角運動量の方向を維持。
右大腿部	1	1	AKC	T	大腿二頭筋（等尺性）	外旋抑制と構造的安定の確保。	慣性抵抗を制御し骨盤への角運動量伝達を最適化。
骨盤帯	1	1	Hybrid	0	腹横筋（等尺性）	IAP によるバックリングと有効質量の最大化。	質量重心を安定。内部回転モーメントの飽和による平衡維持。
腰椎部	1	1	DKC	0	多裂筋（等尺性）	椎体間遊びの排除と鉛直剛性の確保。	各椎体間で回転モーメントを分配。y軸側屈角加速度を排除。
胸椎・肋骨部	1	1	DKC	0	脊柱起立筋（等尺性）	上半身の回旋位保持と上肢への伝達。	z軸角速度は体軸と同期。角運動量を安定させる。
左上腕部	1	1	DKC	0	僧帽筋下部（等尺性）	肩の下制維持と上肢の相対的固定。	下行連鎖の起点。y, z軸回転モーメントを飽和。
右上腕部	1	1	DKC	0	菱形筋（等尺性）	腕部のバックリングによる伝達ロスの最小化。	相対的固定。x軸挙上角加速度を抑制し慣性を保持。
左前腕部	1	1	DKC	T	上腕三頭筋（等尺性）	指向方向（円中心）への腕部剛体化。	肩関節を支点とした慣性モーメントの最適化。指向性の維持。
右前腕部	1	1	DKC	T	尺側手根屈筋（等尺性）	手首アライメントの固定と内部トルクの飽和。	y軸屈曲回転モーメントを維持。円中心へのポテンシャル保持。
頭部	1	1	DKC	0	頭板状筋（等尺性）	吊り上げ状態の維持と視覚情報の固定。	z軸角速度は体幹と同期。全軸の角運動量の安定的な起点。
両手指	1	1	DKC	T	虫様筋（等尺性）	指の開展保持と末端の指向性確立。	各関節の回転モーメントを飽和。空気抵抗による角加速度を相殺。

フェーズ2: 右脚部（外側）による扣歩(Kōubū)

☒ 運動学的動作解説	☒ 幾何学的成立条件	☒ 物理諸量条件
外側足（右）の遊脚化に伴い立脚（左）の股関節を伸展させCoMを接線方向へわずかに前進させる。右足は膝関節屈曲・下腿内旋しながら爪先を円中心へ向ける扣歩軌道を描き接地する。接地座標は左足爪先のY軸前方約30cm・円中心側（X軸内方）。爪先は接線に対して90度の角度を成す。接地と同時に距腿関節は能動的背屈が強制され膝関節は衝撃吸収のため屈曲を深める。上半身は前方傾斜しようとする慣性力に抗い腹筋群の求心性活動によって腰椎鉛直性を保持する。	CoMの並進速度ベクトルを接線方向から法線方向へ偏向させ制動距離を設定する。右足接地が支持基底面の前方境界を規定。	並進運動量（$P=mv$）が右足接地時GRFによる負の角加速度で減衰し回転・弾性ポテンシャルエネルギーへ変換される。
☒ 解剖学的・運動力学的構造配置		
右足底腱膜・下腿三頭筋の遠心性収縮で衝突衝撃を吸収・貯蔵。中殿筋遠心性収縮が骨盤側方揺動を抑制。大腰筋がCoMを支持基底面内へ引き込む。		

詳細マッピング(全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	1	0	AKC	0	後脛骨筋（等尺性）	軸足として垂直GRFを維持。	右足の減衰に伴うy軸反作用回転モーメントを処理。
右足部	1	1	AKC	0	足底腱膜（遠心性）	垂直GRFを獲得し位置エネルギーへ変換。	進行方向への負の角加速度を生成。z軸角速度を減衰。
左下腿部	1	1	AKC	T	前脛骨筋（等尺性）	骨盤の後方スライドを抑制。	質量重心のアンカーとして機能。角運動量の散逸を防止。
右下腿部	0	1	AKC	T	腓腹筋（遠心性）	距腿関節の背屈を許容しSSC開始。	y軸の弾性ポテンシャルを受領。角加速度を吸収。
左大腿部	1	1	AKC	T	内側広筋（等尺性）	関節の遊びを排除し有効質量を維持。	x, y, z軸全方位の角加速度を零に制御。
右大腿部	1	1	AKC	T	大腿四頭筋（遠心性）	制御された落下を減衰し弾性能蓄積。	屈曲（x軸）の負の角加速度。運動エネルギーを張力へ。
骨盤帯	1	1	Hybrid	0	大腿方形筋（等尺性）	落下インパクトに伴う仙骨剪断に拮抗。	全軸の角速度を減衰。有効質量をパッキング。
腰椎部	1	1	DKC	0	腹斜筋群（等尺性）	並進速度を減少させ回転エネルギーへ転換。	y軸慣性に対し屈曲回転モーメントで拮抗。
胸椎・肋骨部	1	1	DKC	0	腹横筋（等尺性）	体幹剛性の確保とマスの集中。	z軸角速度を維持しつつ椎体間の粘弾性を最大化。
左上腕部	1	1	DKC	0	菱形筋（等尺性）	腕部を体幹へパッキングし伝達ロス最小化。	前方への慣性に対し体幹との一体化で角運動量を保護。
右上腕部	1	1	DKC	0	僧帽筋中部（等尺性）	右腕の引き込み動作を構造的サポート。	相対的固定。x軸挙上角加速度を抑制。
左前腕部	1	1	DKC	T	腕橈骨筋（等尺性）	腕部の慣性モーメントを最小化。	並進速度減衰に伴う末端の振れを抑制。座標精度を維持。
右前腕部	1	1	DKC	T	尺側手根屈筋（等尺性）	手首アライメントを固定しトルク飽和。	y軸屈曲回転モーメントを維持し次相の変換を予約。
頭部	1	0	DKC	T	胸鎖乳突筋（等尺性）	頭部の鉛直保持と視覚的中心捕捉。	物理的角運動量はCCWだが不測の角加速度を排除。
両手指	1	1	DKC	T	深指屈筋（等尺性）	手指の構成を維持し末端剛性を確保。	末端角加速度を最小化。弾性エネルギーを次相ヘリレー。

フェーズ3:左脚部（内側）による擺歩(B ā ibù)

☒ 運動学的動作解説	☒ 幾何学的成立条件	☒ 物理諸量条件
右足（立脚）の股関節伸展で地面をY軸後方へプッシングし、CCW回旋を維持したままCoMを円周外方へ駆動する。遊脚（左足）は股関節外転・屈曲を伴い接線方向外側へ大きく開く擺歩を行う。接地時、左足の爪先は新たな円周軌道（CW）の接線方向と一致するよう下腿外旋を伴って接地する。動作中、頭部・胸郭の指向性はCoM回旋に先行してCW方向への「ねじれ（Torsion）」を開始する。これにより頸椎・胸椎分節間でCCW角運動量とCW指向性のギャップが最大化される。	CoM のCCW周回軌道を維持しながら支持基底面を外方拡張し、角運動量反転のための初期勾配を設定する。	胸椎・頭部の角速度ベクトルがCW方向へ先行開始するが物理的な重心角運動量はCCWを維持する。この角度的ギャップが爆発的角加速度のトリガーとなる。
☒ 解剖学的・運動力学の構造配置		
縫工筋・長内転筋の求心性収縮で外転・外旋を誘導し新軌道へ接続。軸足（右）側の中殿筋中部等尺性収縮で骨盤水平と CoM 高度を維持する。		

詳細マッピング(全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	0	0	DKC	T	母趾外転筋（求心性）	自由端として外周円への座標移動をガイド。	軌道変更に伴うz, y軸角加速度を生成。
右足部	1	1	AKC	0	長母趾屈筋（等尺性）	前相で蓄積した GRF を維持し安定化。	z軸角速度はCCW継続。各軸の剛性を極大化。
左下腿部	0	0	DKC	T	第三腓骨筋（求心性）	遊脚の回外/回内を制御し正確な接地を誘導。	運動学的アジャスト。z軸角速度を骨盤と同期。
右下腿部	1	1	AKC	T	後脛骨筋（等尺性）	距骨座標の固定と軸足の支持剛性最大化。	角運動量の軸精度を確保。動的トルク変動を相殺。
左大腿部	1	0	DKC	T	縫工筋（求心性）	膝の挙上と回旋を誘導し大腿軌道を決定。	y, z軸方向の角加速度を生成。質量分布を遷移。
右大腿部	1	1	AKC	T	大腿直筋（等尺性）	膝関節角度を保持し重心高度を維持。	x軸回転モーメントを飽和。角運動量ベクトルを保持。
骨盤帯	1	1	Hybrid	0	腹横筋（等尺性）	体幹剛性により質量重心の動揺を抑制。	全軸角速度は定常。有効質量の整合性を維持。
腰椎部	1	1	DKC	0	回旋筋（等尺性）	物理的角運動量を維持しねじれ剛性を確保。	符号反転の「溜め」を形成。z軸回転モーメント飽和。
胸椎・肋骨部	1	1	DKC	0	半棘筋（等尺性）	上半身の指向性シフトを受け止める。	CCWの慣性を維持しつつCWの勾配形成。
左上腕部	1	1	DKC	0	三角筋後部（等尺性）	指向性を新慣性系の接線方向へ先行させる。	z軸角速度の勾配設定。肩甲骨回転モーメントの飽和。
右上腕部	1	1	DKC	0	小胸筋（等尺性）	肩甲骨を前下方に安定させ指向性先行をガイド。	相対的固定。上肢全体の慣性モーメントを最適化。
左前腕部	1	1	DKC	T	円回内筋（等尺性）	腕部全体をCW方向へ予見させ座標整合。	前腕質量分布を反転運動の最小抵抗位置へ。
右前腕部	1	1	DKC	T	橈側手根伸筋（等尺性）	前腕アライメントを維持し伝達を担保。	y, z軸角加速度を抑制。指向性の一貫性を保持。
頭部	1	1	DKC	0	胸鎖乳突筋（等尺性）	目線をCW方向へスイッチし変換準備。	指向性の先行。角度ギャップによる位置的勾配形成。
両手指	1	1	DKC	T	指伸筋（等尺性）	手指の開展状態を維持し末端指向性確立。	角運動量ベクトルを新円中心へ再収束させるガイド。

フェーズ4: 扣歩 → 葉底蔵花 (Yè Dǐ Cáng Huā)

☒ 運動学的動作解説	☒ 幾何学的成立条件	☒ 物理諸量条件
反転直前の「零点 (Zero-crossing)」における静的平衡の極致を形成する。両足底は互いに鋭角（約30-45度）を成して交差し支持基底面はX軸・Y軸ともに極小化された菱形を形成する。CoMは両足の幾何学的中心の直上に位置し並進速度・角速度は一時的に零となる。前手（左）は肘関節を高度に屈曲させ前腕を水平に保ち正中線前方の仮想円筒を抱え込む。後手（右）は左脇下から円中心へ直線的に差し込まれ掌をZ軸上方へ向ける。脊椎は腰椎から頸椎まで最大トルクで「ねじり」が飽和した状態にあり IAP 最大化で体幹は一塊の剛体となる。	転換の極点。CoMの三次元座標変化は一時停止（$\Delta \text{CoM} \approx 0$）。全セグメントは目標CW慣性系への最短経路上に整列し「整除」を完遂する。	系全体の角速度は零だが内部の回転モーメントおよび弾性ポテンシャルエネルギーは最大飽和。自重由来の GRF トルクが脊椎・骨盤帯でバッキングされ有効質量が高度に同期する。
☒ 解剖学的・運動力学的構造配置		
梨状筋・大腿方形筋の強力な等尺性収縮により仙腸関節の力学的閉鎖（Force Closure）を確立。腹横筋共収縮で IAP を最大化し各椎体間の遊びを排除した脊椎剛体化を実現する。		

詳細マッピング (全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	1	1	AKC	0	後脛骨筋（等尺性）	垂直GRFを軸回転トルクへ変換する起点。	ゼロクロス地点。角速度は零だがトルク最大飽和。
右足部	1	1	AKC	0	長母趾屈筋（等尺性）	支持基底面外縁を固定し構造的安定を担保。	z軸角速度零。各軸の回転モーメントを保持。
左下腿部	1	1	AKC	T	前脛骨筋（等尺性）	足首アライメントの完全固定と減衰抑制。	座標固定。内部応力飽和による粘弾性能保持。
右下腿部	1	1	AKC	T	腓骨筋群（等尺性）	距骨座標のロックと衝撃の構造的保持。	x, y軸回転モーメントの均衡による動的平衡。
左大腿部	1	1	AKC	T	内側広筋（等尺性）	運動連鎖の衝突点を剛体的に安定化。	x, y, z軸全方位の角加速度を零に制御。
右大腿部	1	1	AKC	T	大腿二頭筋（等尺性）	有効質量の同期と回転ポテンシャルの最大化。	関節包内の遊びを排除した回転モーメント飽和。
骨盤帯	1	1	Hybrid	0	腹横筋（等尺性）	IAP 最大化により座標を完全固定。	質量重心の静止。主働・拮抗筋同時収縮による最大トルク。
腰椎部	1	1	DKC	0	多裂筋（等尺性）	符号反転前の回旋トルクを最大飽和。	雑巾絞りの極致。z軸トルク最大だが角度変化零。
胸椎・肋骨部	1	1	DKC	0	腹横筋（等尺性）	胸郭の剛性保持とエネルギーの保持。	z軸回転モーメントを飽和させ伝達ロスを排除。
左上腕部	1	1	DKC	0	前鋸筋（等尺性）	円筒保持の基盤となる相対的固定点を形成。	上手アライメント維持。y軸回転モーメント飽和。
右上腕部	1	1	DKC	0	僧帽筋下部（等尺性）	肩の挙上抑制と差し込み動作のガイド。	下行連鎖の安定。手部からの反作用を体幹で吸収。
左前腕部	1	1	DKC	T	上腕三頭筋（等尺性）	円筒保持の座標固定と空間的容積の維持。	z軸高度の固定。次相の慣性モーメントを予約。
右前腕部	1	1	DKC	T	尺側手根屈筋（等尺性）	右手を左脇下へ誘導し末端剛性を最大化。	y軸回内トルク最大化。体幹と腕部の剛体結合。
頭部	1	1	DKC	0	頭板状筋（等尺性）	吊り上げ状態の維持と反転用初期勾配設定。	指向性の充填。意識によるCW方向へのトルク偏向。
両手指	1	1	DKC	T	深指屈筋（等尺性）	手指の「合」の状態を維持し回旋極点を形成。	剛性構造の終端。角運動量反転のトリガー待機。

フェーズ5: 挙動1 — スwitching (Switching)

☒ 運動学的動作解説	☒ 幾何学的成立条件	☒ 物理諸量条件
蓄積された位置エネルギー・弾性エネルギーを爆発的なCW回旋運動へと変換する。エンジントリガーは軸足（右）の股関節伸展・外旋による地面蹴り出しであり、骨盤帯がZ軸中心にCW方向へ急激に回旋を開始する。脊椎は腰椎から頸椎へと順次CW方向への回旋加速を伝達し体幹は鉛直軸を維持したまま360度回旋する。差し込まれていた右手（下手）が体幹回旋の遠心力を利用してCW円弧を描いて外方へ射出される。前手（左）は右手の射出と同期して位置を入れ替え新たな後手（添え手）へと推移する。両手掌は Z 軸上方から Y 軸前方へアライメントを組み替えながら回外（Supination）を伴って「返す」挙動を行う。	角運動量の符号が反転（CCW→CW）し CoM が新たな角速度ベクトルに従い接線方向へ並進加速度を発生させる。	フェーズ4で貯蔵された粘弾性エネルギーがSSC 短縮相として一挙に解放（$\eta=-1$）。Z軸周りに巨大な角加速度が生成されエネルギーが末端（手部）へ射出される。
☒ 解剖学的・運動力学的構造配置		
右股関節の大殿筋が求心性収縮で反転の主動力源として機能。脊柱起立筋群が螺旋状トルクを解放し360度回旋を駆動。三角筋前部・広背筋が上半身の質量を新CW慣性系へ射出する。		

詳細マッピング(全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	1	-1	AKC	0	長母趾屈筋（求心性）	GRFベクトルをCW軸回転方向へ転換。	z軸角速度の符号反転。巨大な角加速度を生成。
右足部	1	-1	AKC	0	足底腱膜（求心性）	貯蔵された GRF をCW回転方向へ射出。	離地開始によるz軸角運動量の急増。新慣性系へ加速。
左下腿部	0	-1	AKC	T	腓腹筋（求心性）	踵骨スイッチによる SSC の加速度変換。	剛性一時減少。z軸角速度反転の剪断抵抗を処理。
右下腿部	0	-1	AKC	T	長腓骨筋（求心性）	下腿の回旋動作による GRF 伝達加速。	角運動量を中継。粘弾性解放によるスムーズな回旋。
左大腿部	1	-1	AKC	T	大腿直筋（求心性）	屈曲/伸展の微細運動による回旋トルク増幅。	z軸回りの角加速度を骨盤帯へ最大伝達。
右大腿部	1	-1	AKC	T	大殿筋（求心性）	軸足固定の下で爆発的な角加速度生成を駆動。	符号反転のエンジン。強力な角運動量を上半身へ射出。
骨盤帯	0	-1	Hybrid	0	腹斜筋群（求心性）	骨盤の軸回転をCCWからCWへスイッチ。	質量重心の符号反転。有効質量の慣性によるCW射出。
腰椎部	0	-1	DKC	0	脊柱起立筋（求心性）	脊椎の「雑巾絞り」連鎖を解放し360度回転。	各椎体間角度の急変。CW角速度がピークに到達。
胸椎・肋骨部	0	-1	DKC	0	回旋筋（求心性）	体幹部の回旋加速と末端へのエネルギー伝播。	全方位の角運動量を正中線へ収束させつつ加速。
左上腕部	1	-1	DKC	T	三角筋前部（求心性）	上半身の質量をCW方向へ射出。	回転半径の拡張制御。遠心力による制圧範囲の最大化。
右上腕部	1	-1	DKC	T	広背筋（求心性）	360度回転動作を力学的連鎖によって加速。	下行連鎖の終端加速。体幹回転エネルギーの手部バイパス。
左前腕部	1	-1	DKC	T	腕橈骨筋（求心性）	両手掌部を上方へ向けつつ360度回転を完遂。	アライメントの劇的変化。z軸方向の手掌返し。
右前腕部	1	-1	DKC	T	回外筋（求心性）	手掌を上方へ向けつつ新慣性系への射出完遂。	x軸外旋トルクの解放。CW慣性系への角運動量定着。
頭部	1	0	DKC	T	頭斜筋（求心性）	指向方向をCW周回中心へとスイッチ。	座標系遷移のナビゲート。z軸角速度の先行反転。
両手指	1	0	DKC	T	虫様筋（等尺性）	高速回転中の遠心力による指形崩壊の抑制。	角運動量ベクトルの末端固定。空間的質量分布の維持。

フェーズ6: 挙動2 → 開始前姿勢へ(Settlement)

☒ 運動学的動作解説	☒ 幾何学的成立条件	☒ 物理諸量条件
反転した角運動量を新たなCW円周歩行慣性系へと定着させる。回旋の勢いで前方へ送り出された右足は擺歩の軌道を完了させ新たな進行方向（CW接線方向）へ爪先を向けて接地する。内側に残された左足は右足接地座標に対応した内周側の円周上へ引き寄せられ（跟歩）爪先をCW進行方向へアジャストする。上半身では回旋の慣性エネルギーを体幹剛性で吸収・安定化させ両腕部を「開始前姿勢（CW版）」へ再配置する。前手（右）の指先は円中心を向き後手（左）はその肘下に収まる。脊椎は中正へ復し呼吸と動作の同期を回復する。	反転した角運動量をCW定常周回歩行へ移行・定着させる。支持基底面が新CW円周軌道に整合するよう座標移動（擺歩）を完了し CoM が新たな動的平衡状態へ収斂する。	全身のベクトル総和が再び零に近接し定常的な角速度・角運動量へ安定する。慣性力・遠心力・重力に対する動的平衡が再確立され CoM の座標移動が滑らかな円周軌道へ回帰する。
☒ 解剖学的・運動力学的構造配置		
ストリングモデルに基づき足底部（起点）から手掌部（終点）への対角線上の運動連鎖が完遂される。後脛骨筋・長腓骨筋の等尺性収縮で足部アーチの剛性を再構築し支持基底面を安定させる。		

詳細マッピング(全15セグメント)

セグメント	k	η	モード	O/T	解剖学	運動力学	物理諸量
左足部	1	0	AKC	0	後脛骨筋（等尺性）	回転モーメントをCW接線方向ヘシフト定着。	z軸周りの角速度は安定したCW周回へ移行。
右足部	0	0	DKC	T	母趾外転筋（求心性）	新円周軌道への接線定着（擺歩）を完了。	z軸角速度をCW接線方向へ整合。等速円運動へ回帰。
左下腿部	1	1	AKC	T	前脛骨筋（等尺性）	距骨座標の固定と新慣性系の支持基底面維持。	距腿関節を支点とする各軸の回転モーメント飽和。
右下腿部	1	1	AKC	T	下腿三頭筋（等尺性）	距骨下関節の中立位保持とアライメント定着。	x軸剛性最大化。質量重心のx軸揺動を最小化。
左大腿部	1	1	AKC	T	内側広筋（等尺性）	軸足の膝関節高度を一定に保持し移動を安定化。	屈曲（x軸）の回転モーメント飽和。角運動量維持。
右大腿部	1	1	AKC	T	外側広筋（等尺性）	膝関節の過剰な外旋を抑制し構造を安定化。	z軸周りの慣性抵抗を制御。軌道逸脱を防止。
骨盤帯	1	1	Hybrid	0	腹横筋（等尺性）	全軸の合力を零にする動的平衡で質量重心安定。	全軸の角速度は剛体近似。外部攪乱に対する平衡。
腰椎部	1	1	DKC	0	多裂筋（等尺性）	左右足底と手掌を同期させ整除プロセス完結。	各椎体間でz軸回転モーメントを微細に再分配。
胸椎・肋骨部	1	1	DKC	0	腹斜筋群（等尺性）	多関節アームとして上部の角運動量を安定化。	角速度はCW。y軸側屈の角加速度を排除。
左上腕部	1	1	DKC	0	僧帽筋下部（等尺性）	ストリングモデルにより足底と同期した下制維持。	y, z軸の回転モーメント飽和。指向性の保持。
右上腕部	1	1	DKC	0	菱形筋（等尺性）	腕部を体幹へバックングし伝達ロスを最小化。	相対的固定。x軸挙上を抑制し慣性モーメント最適化。
左前腕部	1	1	DKC	T	上腕三頭筋（等尺性）	新慣性系の指向方向へ腕部剛体構造を固定。	z軸角速度はCW定常。空間的な質量分布の定着。
右前腕部	1	1	DKC	T	腕橈骨筋（等尺性）	内旋/外旋による手掌の微調整とアライメント完遂。	y軸屈曲回転モーメント維持。全体の角運動量の一部。
頭部	1	1	DKC	0	頭板状筋（等尺性）	視覚情報を正規化し開始前姿勢への回帰を誘導。	z軸角速度は体幹同期。重力による椎体圧壊の防止。
両手指	1	1	DKC	T	指伸筋（等尺性）	指の開展状態を維持し末端指向性を新系へ定着。	各関節回転モーメント飽和。角運動量ベクトルの再収束。

3. 空欄・不明欄の発生理由および検討事項

- ① 分節化された脊椎の局所物理諸量(L1-L5, T1-T12)

本マッピングでは「腰椎部」「胸椎部」として一括しているが、実際には各椎体間で回旋角度差（雑巾絞りの位相差）が存在する。T7-T8間の剪断応力等を厳密に算出するには多体動力学計測による個別数値が必要なため、現状では包括的記述に留める。
- ② 筋膜(Fascia)による張力伝達の定量的寄与

ストリングモデルにおいて左足底部（起点）から右腕部（終点）へ伝達されるエネルギーのうち、純粋な骨格筋収縮によらない「筋膜組織の弾性ポテンシャルエネルギー」の占める割合は非線形かつ時変的な動態であり、現在の行列記述では特定が困難である。
- ③ 靱帯の粘弾性回復曲線と神経発火の同期タイミング

受動的伸張（Passive Stretch）から解放された靱帯の弾性能が、筋肉の求心性収縮とどの程度の時間的位相差（Phase delay）で同期し新慣性系に定着するかは、現在のモデルの解像度を超える遷移領域であるため「不明」としている。

■ 結論

本詳細マッピングにより、単換掌とは単なるポーズの遷移ではなく、「質量中心の落下ポテンシャルを地面反力として受領し、多体節リンク系の各関節における剛性 (k) と粘弾性 (η) を時系列行列に沿って能動的に制御することで、角運動量の符号を非断絶的に反転させる高効率な生体変速機プロセス」であることが、解剖学的・物理学的整合性をもって可視化された。